Québec

Note de recherche forestière n° 106

Cartographie de la productivité d'une aire commune située dans la Réserve faunique des Laurentides

CATHERINE PÉRIÉ[1], HÉLÈNE D'AVIGNON[1], VINCENT GERARDIN[2] ET ROCK OUIMET[3]

F.D.C. 547(047.3)(714)
L.C. SD 387 M3

Résumé

Le but de cette étude est de prédire la productivité forestière de l'aire commune 031-07, située dans la Réserve faunique des Laurentides. Pour ce faire, deux scénarios sont envisagés. Le premier s'appuie uniquement sur des variables édaphoclimatiques alors que le deuxième raffine le premier en ajoutant les caractéristiques des peuplements aux variables édaphoclimatiques. Les variables utilisées sont des variables cartographiques. L'accroissement annuel moyen maximum (AAM_{MAX}) calculé à l'âge d'exploitabilité absolu (AEA) de l'essence « principal-objectif » (sapin baumier ou épinette noire) a été choisi pour caractériser la productivité de l'aire commune. Dans l'aire commune, les sapinières qui poussent sur des stations mésiques, en présence d'un drainage oblique sont les plus productives, avec un gain moyen de production de près de 40 % par rapport aux sapinières qui poussent sur des stations mésiques sans drainage oblique. En général, les sapinières poussent mieux que les pessières puisque leur AAM_{MAX} moyen est de 1,62 $m^3 ha^{-1} an^{-1}$ tandis que celui des pessières noires est de 1,02 $m^3 ha^{-1} an^{-1}$. La productivité moyenne en résineux de l'aire commune est de 1,43 $m^3 ha^{-1} an^{-1}$, ce qui correspond à la possibilité octroyée par le PGAF 1989-1994. On peut donc dire qu'à condition que les peuplements soient coupés à l'AEA de l'essence « principal-objectif », l'entreprise bénéficiaire de l'aire commune respecte la capacité de production du territoire. Les cartes obtenues permettent de distinguer avec précision les stations les plus productives des moins productives ; ces cartes peuvent donc être un outil intéressant d'aide à la décision lors de la planification des opérations sylvicoles. Elles peuvent également servir de référence zéro pour évaluer l'impact des perturbations d'origine anthropique sur la productivité des peuplements de l'aire commune.

Mots clés : cartographie, productivité forestière, accroissement annuel maximum.

Abstract

The aim of the study was to predict forest productivity of a common area (management unit 031-07) situated in the boreal forest (Quebec, Canada). Two techniques were envisaged to accomplish this ; one required environmental variables only, the other required both environmental variables and stand characteristics such as density and group species. To evaluate the productivity, the maximum annual increment for the principal species selected by the forest management, balsam fir or black spruce, was calculated. In the common area , fir stands grow better than spruce stands (1.62 $m^3 ha^{-1} yr^{-1}$ and 1.02 $m^3 ha^{-1} yr^{-1}$ respectively). Fir stands that grow on mesic soil were the most productive stands. Provided that stands are cut at the rotation age corresponding to the average maximum annual growth, the industry exploiting the territory respects the annual allowable cut assigned. The data acquired from this study can be used in the construction of maps. Maps of stand productivity are precise in helping to distinguish the most productive stands from the least productive ones, and therefore are useful tools to aid forest managers with forest management planning.

Key words : mapping, forest productivity, maximum annual increment.

1 Scierie Leduc (Division de Daïshowa inc.).
2 Direction du patrimoine écologique et du développement durable, ministère de l'Environnement.
3 Direction de la recherche forestière, Forêt Québec, ministère des Ressources naturelles.

Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec) G1P 3W8 Canada

Téléphone : (418) 643-7994
Télécopieur : (418) 643-2165
Courriel : rech.for@mrn.gouv.qc.ca

Introduction

Le deuxième critère de l'aménagement forestier durable, voie dans laquelle s'est engagé le Canada depuis une dizaine d'années, réfère au maintien et à l'amélioration de la productivité des écosystèmes (CCFM 1995). Il devient donc nécessaire de pouvoir prédire, avec la meilleure précision possible la productivité des peuplements forestiers pour pouvoir 1) localiser les stations forestières ayant le meilleur potentiel de production afin d'en intensifier l'aménagement (Messier et Kneeshaw 1999) et 2) suivre, dans le temps, l'impact des perturbations anthropiques sur la productivité des peuplements de l'aire commune 031-07.

On entend par station, une étendue de terrain de superficie variable, homogène dans ses conditions écologiques (mésoclimat, topographie, sol, composition végétale ; Blais *et al.* 1996). La qualité d'une station se définit comme étant l'ensemble des facteurs environnementaux capables d'affecter la communauté biotique de l'écosystème (Daniels *et al.* 1979). La qualité d'une station influence sa productivité. La productivité forestière réfère à la quantité de matière ligneuse qu'un peuplement est capable de produire en un temps donné. Deux types de productivité peuvent être envisagés : la productivité des peuplements déjà sur pied, mais également la productivité potentielle d'une station. Cette dernière notion fait référence à la capacité d'une station à produire la matière ligneuse selon ses caractéristiques intrinsèques telles l'étage bioclimatique, le type de dépôt, le drainage, etc.

Compte tenu de l'étendue de la forêt québécoise, il est impossible de mesurer, sur le terrain, la productivité de tous les peuplements forestiers. Des méthodes indirectes d'estimation sont donc utilisées afin d'aider l'aménagiste forestier dans sa tâche. En Amérique du Nord, le calcul de la productivité forestière est souvent traduit par l'indice de qualité de station (hauteur dominante du peuplement à un âge de référence ; IQS). L'IQS est la mesure quantitative la plus souvent utilisée pour exprimer et évaluer la qualité d'une station (Davis et Johnson 1987, Monserud *et al.* 1990) ainsi que le potentiel de production du peuplement forestier en devenir (Alemdag 1991). La détermination de l'IQS ne fait appel qu'à des mesures dendrométriques, mesures qui peuvent être autant influencées par les caractéristiques du site que par celles du peuplement (Corns 1983, Corona *et al.* 1998, Nieppola et Carleton 1991, Pluth et Corns 1983, Wang et Klinka 1996). L'IQS (relation âge –hauteur) ne tient compte que de l'évolution « verticale » du peuplement tandis que l'accroissement annuel moyen (relation volume – âge) tient compte à la fois de l'IQS, donc de l'évolution verticale du peuplement, et de la densité relative du peuplement (évolution horizontale du peuplement). Généralement, plus une station est riche, plus la densité relative du peuplement est importante (Pothier et Savard 1998). Nous avons donc choisi d'évaluer la productivité, non pas à partir de l'IQS, mais à partir de l'accroissement annuel moyen maximum (AAM_{MAX}) calculé à l'âge d'exploitabilité absolu de l'essence « principal-objectif ».

Pour pouvoir localiser les stations les plus prometteuses, ou à l'inverse les stations les moins prometteuses en termes de productivité, il est important d'essayer d'établir des liens entre la productivité potentielle d'une station et ses caractéristiques écologiques. Si un tel lien existe, il devient alors possible de prédire la productivité potentielle de n'importe quelle station à partir des variables écologiques corrélées à la productivité, à condition de les connaître. Il est donc important, dans un but de prédiction de la productivité à grande échelle, de l'ordre de plusieurs milliers de km², de n'utiliser, dans le modèle de prédiction, que des variables qui peuvent être photo-interprétées.

Les objectifs de cette étude sont de deux ordres. Le premier objectif est d'établir, à partir de variables édapho-climatiques, une clé de classification de l'AAM_{MAX}, puis d'utiliser cette clé pour prédire l'AAM_{MAX} de chaque polygone de l'aire commune et ce, afin de localiser les stations forestières d'intérêt. Le deuxième objectif est d'établir, à partir des variables édapho-climatiques et des variables de peuplements, une clé de classification de la productivité des peuplements en croissance en 1989 (date de la dernière mise à jour des cartes écoforestières) puis d'utiliser cette clé afin de prédire la productivité de ces peuplements. Cette carte servira de référence zéro pour pouvoir, ultérieurement, évaluer l'impact des perturbations d'origine anthropique sur la productivité forestière de l'aire commune 031-07.

Matériel et méthode

Territoire étudié

Afin d'augmenter le nombre de parcelles échantillons utilisées pour la détermination des clés de classification, la zone d'étude a été élargie à l'ensemble du territoire couvert par les régions écologiques 8f et 9c de Thibault et Hotte (1985). La zone d'étude a une superficie de 9 800 km² environ ; l'aire commune 031-07 ne représente que 14 % de la superficie de la zone d'étude (figure 1).

L'aire commune 031-07, d'une superficie totale de près de 1 360 km², est localisée à une quarantaine de kilomètres au nord de la ville de Québec, dans la réserve faunique des Laurentides, entre les latitudes 46° 50' N et 47° 45' N et les longitudes 70° 50' O et 71° 40' O (figure 1). Le territoire forestier dit productif recouvre près de 95 % de la superficie totale de l'aire commune. Les principales perturbations qui ont modifié le paysage forestier sont la récolte forestière, les premières coupes datant de 1927, les épidémies récurrentes d'insectes et les feux, dont le plus important remonte à 1878. C'est actuellement un territoire public sous contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) avec la compagnie Scierie Leduc, division de Daishowa inc.

101-02947/

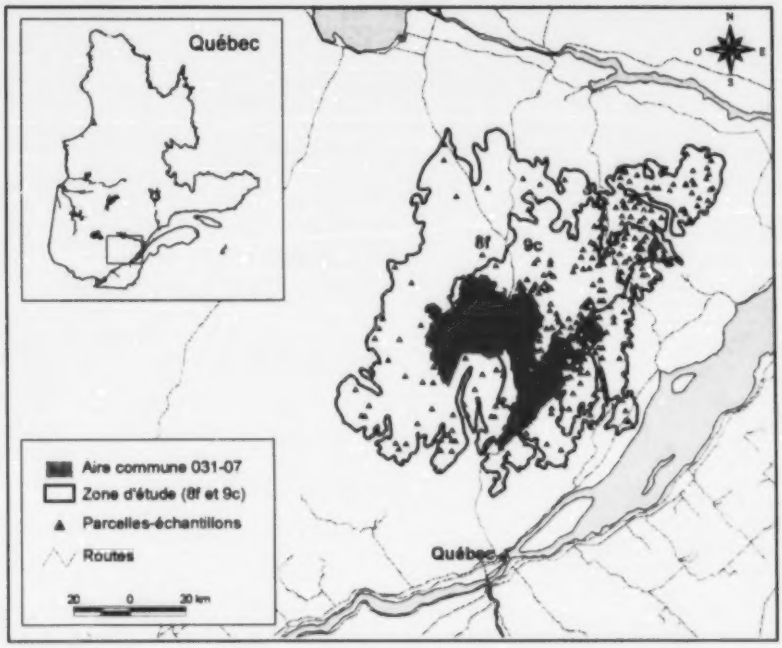

Figure 1. Localisation de l'aire commune 031-07, de la zone d'étude et des placettes-échantillons du MRN.

Le relief de l'aire commune est très accidenté puisque plus d'un quart du territoire présente des pentes dont la déclivité est supérieure à 30 %. L'altitude maximale est de 1 144 m, alors que l'altitude minimale est de 259 m. L'altitude moyenne augmente graduellement dans la partie sud, redescend dans la partie centrale pour se situer autour de 800 m, puis augmente à nouveau dans la partie nord de l'aire commune ; 5 % du territoire ont une altitude moyenne inférieure à 700 m, alors que 21 % ont une altitude moyenne supérieure à 900 m. Les dépôts glaciaires recouvrent 92 % du territoire et plus des deux tiers de la superficie recouverte par ces dépôts sont des tills épais. Les dépôts fluvio-glaciaires recouvrent environ 6 % du territoire, tandis que les sols organiques et les affleurements rocheux n'occupent, chacun, qu'environ 1 % du territoire.

Le climat, typique à cette région des Laurentides, est particulièrement froid et humide compte tenu de la latitude. Il est caractérisé par une température annuelle moyenne de −0,6 °C et des précipitations totales annuelles de 1 500 mm dont 600 mm sous forme de neige (Anonyme 1997). Le relief accidenté et le climat particulièrement rude font que cette région supporte une végétation boréale que l'on rencontre habituellement plus au nord. En effet, l'aire commune 031-07 chevauche deux domaines boréaux distincts (Thibault et Hotte 1985) la sapinière à bouleau blanc (région écologique 8f ; 37 % de la superficie totale de l'aire commune) et la sapinière à épinette noire (région écologique 9c ; 63 % de la superficie totale de l'aire commune).

La région écologique 8f entoure la région écologique 9c, laquelle occupe la portion la plus élevée du massif. Les sols qui se sont développés sur ce territoire portent la marque de l'influence combinée du climat froid et humide, du relief très accidenté ainsi que de la végétation boréale. On retrouve donc, selon l'altitude, des podzols ferro-humiques ou humo-ferriques avec de fréquents ortsteins et fragipans, principalement sur les matériaux d'origine glaciaire (Lamontagne et Nolin 1997).

Calcul de l'accroissement annuel moyen maximum

À partir des équations établies par Pothier et Savard en 1998, nous avons calculé l'accroissement annuel moyen maximum (AAM_{MAX}) à l'âge d'exploitabilité absolu des pessières noires et des sapinières. Trois espèces forestières ont été retenues en raison de leur importance dans l'aire commune : le bouleau à papier (*Betula papyrifera* March. ; BOP), l'épinette noire (*Picea nigra* (Mill.) BSP ; EPN) et le sapin baumier (*Abies balsamea* (L) Mill. ; SAB).

Plusieurs étapes sont nécessaires au calcul de l'AAM_{MAX} :

1) calculer l'IQS à partir de la hauteur dominante et de l'âge corrigé du peuplement ;

2) calculer la densité relative du peuplement à partir du diamètre quadratique moyen de toutes les tiges et du nombre de tiges de chaque placette ;

3) calculer le volume marchand brut des peuplements ;

4) estimer l'âge d'exploitabilité absolu (AEA) à partir de l'IQS et de la densité relative à 100 ans ;

5) recalculer toutes les variables qui entrent dans le calcul du volume marchand brut, non plus à l'âge corrigé du peuplement, mais à l'âge d'exploitabilité absolu afin de calculer le volume marchand brut à l'âge d'exploitabilité absolu V_{AEA} ;

6) calculer l'accroissement annuel moyen maximal (AAM_{MAX}). C'est le rapport entre le volume marchand brut calculé à l'âge d'exploitabilité absolu et l'âge d'exploitabilité absolu, et il s'exprime en $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$:

$$AAM_{MAX} = \frac{V_{AEA}}{AEA}$$

Dans le cas particulier des peuplements mixtes, l'âge d'exploitabilité utilisé dans le calcul de la possibilité forestière est celui de l'essence « principal-objectif », qui, dans l'exercice proposé, est toujours un résineux, le sapin baumier dans le cas des sapinières mixtes et l'épinette noire dans le cas des pessières noires mixtes. L'essence « principal-objectif » est celle qui sert à établir l'objectif de production du futur peuplement (Anonyme 1998). Le volume actuel du peuplement est estimé à l'aide des équations de Pothier et Savard (1998) mais il est également mesuré sur le terrain (données fournies par les placettes temporaires du MRN). Il est ainsi possible d'établir un ratio entre le volume estimé du peuplement mixte et le volume réel, ratio utilisé dans le calcul de l'accroissement annuel maximal (Anonyme 1998).

Variables utilisées pour établir les clés de classification et les scénarios de prédiction

Les données utilisées pour établir les clés de classification sont issues des banques de placettes-échantillons, temporaires et permanentes du MRN (tableau 1). Pour les placettes-échantillons temporaires, seules celles du troisième inventaire décennal ont été utilisées, car celles des deux premiers décennaux ne présentaient pas de données pédologiques. Dans ces bases de données, deux grandes catégories de variables sont présentes. La première, dite « strate cartographique », est représentée par des variables ayant fait l'objet d'une photo-interprétation tandis que la seconde, dite « strate terrain », est représentée par l'ensemble des variables mesurées sur le terrain lors de l'établissement ou du remesurage des placettes-échantillons (Anonyme 1994). Ainsi, certaines variables peuvent être mesurées sur le terrain et photo-interprétées. Toutefois, la plupart, ne sont pas photo-interprétées et ne peuvent donc pas être cartographiées.

Pour chacune des deux essences « principal-objectif », le sapin baumier et l'épinette noire, deux scénarios ont été envisagés (tableau 2). Il faut préciser que les données utilisées pour la détermination des clés sont toujours les données mesurées sur le terrain et ce, même dans le cas des variables dites cartographiables, variables qui peuvent être photo-interprétées. Ceci a été fait afin de diminuer l'incertitude liée à l'utilisation des données cartographiques puisque lors de l'interprétation des photos aériennes, une certaine imprécision est inévitable, imprécision qui est moins importante lorsque l'on utilise les données mesurées sur le terrain.

Tableau 1. Répartition des placettes-échantillons permanentes et temporaires dans la zone d'étude et dans l'aire commune 031-07.

	Zone d'étude			Aire commune		
	8f	9c	total	8f	9c	total
Placettes-échantillons permanentes						
Nombre de placettes	197	96	293	12	36	48
% / total	67	33		25	75	
Nombre de placettes / 100 km^2			3			4
Placettes-échantillons temporaires						
Nombre de placettes	859	964	1823	108	136	244
% / total	47	53		44	56	
Nombre de placettes / 100 km^2			19			18

Tableau 2. Identification des différentes variables utilisées dans les deux scénarios de prédiction et identification des différentes classes de chaque variable.

Variables	Classes	Description[1]
SCÉNARIO 1 : VARIABLES ÉDAPHO-CLIMATIQUES POUVANT ÊTRE CARTOGRAPHIÉES		
Altitude (Alt)	7	< 700 m
	8	700 - 900 m
	9	> 900 m
Pente	F	Faible pente (déclivité de 0 à 5 %)
	M	Pente moyenne (déclivité de 6 à 15 %)
	I	Forte pente (déclivité supérieure à 16%)
Dépôt	DG	Dépôts glaciaires
	DF	Dépôts fluvio-glaciaires
	DO	Dépôts organiques
	DR	Substratum rocheux
Drainage	XER	Drainage bon (2) à rapide (1)
	MES	Drainage imparfait (4) à modéré (3)
	HUM	Drainage mauvais (5) à très mauvais (6)
Modificateur de drainage (Mod)	0	Pas de drainage oblique
	1	Drainage oblique (« seepage »)
SCÉNARIO 2 : ENSEMBLE DES VARIABLES		
Variables scénario 1 auxquelles sont ajoutées les variables suivantes		
Type de peuplement (Type)	M	Peuplement mélangé (en association avec du BOP)
	R	Peuplement résineux
Groupement d'essences (Grp ess)	EE	Pessières à épinette
	EFI	Pessières avec des feuillus intolérants
	ES	Pessières à sapin
	FIE	Feuillus intolérants à épinette
	FIR	Feuillus intolérants avec des résineux
	FIS	Feuillus intolérants à sapin
	RFI	Résineux avec des feuliius intoiérants
	SE	Sapinières à épinette
	SFI	Sapinières avec des feuillus intolérants
	SS	Sapinières à sapin
Densité (Dens)	A	81 à 100 % de couvert
	B	61 à 80 % de couvert
	C	41 à 60 % de couvert
	D	21 à 40 % de couvert
Type d'humus (HUM)	MR	Humus de type mor
	MD	Humus de type moder
	TO	Tourbe
	SO	Sol organique
Épaisseur de matière organique (EP)	F	Moins de 10 cm
	M	De 10 à 20 cm
	I	Plus de 20 cm
Pierrosité	F	Moins de 25 % de pierres
	M	De 26 à 50 % de pierres
	I	Plus de 51 % de pierres
Texture horizon B (Text B)[2]	LI	L, LA, LI, LLI, LLIA, LSA, LSF, LSG, LSM, LSTF
	S	SF, SG, SGL, SM, SML, STF, STFL, STG, STGL
Texture horizon C (Text C)[2]	A	A, ALI, AS
	LI	L, LA, LI, LLI, LLIA, LSA, LSF, LSG, LSM, LSTF
	S	SF, SG, SGL, SM, SML, STF, STFL, STG, STGL

[1] Pour une description plus détaillée voir ANONYME (1994)

[2] A = argile ; LI = limon ; S = sable ; L = loam ; F = fin ; M = moyen ; G = grossier ; T = très.

Le premier scénario consiste à établir une clé de classification de l'AAM_{MAX} à partir des variables édapho-climatiques qui peuvent être photo-interprétées. La carte obtenue est celle de la productivité potentielle des stations puisque aucune variable de peuplement n'est prise en compte. Par productivité potentielle d'une station, on entend la quantité de matière ligneuse que la station, par ses caractéristiques intrinsèques, est capable de produire. Cette carte pourrait être utile lors de la planification des travaux sylvicoles à faire dans les jeunes peuplements afin d'en améliorer la productivité.

Le deuxième scénario envisagé consiste à établir une clé de classification à partir des variables édapho-climatiques et des variables caractéristiques des peuplements. La clé ainsi obtenue permet de cartographier la productivité des peuplements en croissance en 1989, date de mise à jour des banques de données du MRN. Cette clé permet d'identifier quelles sont les variables les mieux corrélées à l'AAM_{MAX}. Cela permettrait peut-être d'identifier la ou les variables qu'il serait important de pouvoir cartographier pour localiser avec un maximum de précision les stations forestières les plus productives.

Analyses statistiques

Des tests de comparaisons multiples de moyennes (tests de Tukey) ont été réalisés dans le cadre d'une analyse de variance. Seules les doubles interactions significatives ont été testées contre chacune des variables simples afin de vérifier qu'aucune troisième variable ne vienne influencer les moyennes impliquées dans les tests de comparaisons multiples.

Conjointement, une analyse de classification hiérarchique a été effectuée à l'aide de la macro TREEDISC de SAS (SAS Institute 1997). Le but de cette analyse est de prédire la variable catégorique dépendante (AAM_{MAX} dans ce cas-ci) à partir d'une ou plusieurs variables catégoriques indépendantes. L'arbre de régression est structuré de manière hiérarchique avec l'ensemble des données en haut de l'arbre (« racine »), suivi d'une suite de divisions, chacune appelée « nœud » pour finir par des ensembles de données indivisibles appelés « feuille ». La taille de l'arbre de régression est mesurée par le nombre total de feuilles. Ainsi, un ensemble de données indivisibles est considéré comme étant un arbre de régression de taille 1. Plus la taille d'un arbre est élevée, plus la variance inexpliquée par le modèle est faible (Rejwan *et al.* 1999). La seule restriction à cette analyse réside dans le fait que seules les variables catégoriques peuvent être analysées. Il a donc fallu transformer la variable dépendante, l'AAM_{MAX}, en variable catégorique. Afin de bien discerner les stations les plus productives des moins productives, trois classes de productivité ont été définies ; la première, AAM_{MAX} MIN, correspond aux taux d'accroissement les plus faibles, la deuxième, AAM_{MAX} MOY, aux taux d'accroissement moyens et enfin la dernière, AAM_{MAX} MAX, aux meilleurs taux d'accroissement. Les limites des classes ont été choisies pour que chaque classe contienne le même nombre d'observations (100). L'analyse de classification hiérarchique a été effectuée à partir de cet ensemble de 300 données. Des mesures d'associations entre l'AAM_{MAX} (variable dépendante ; variable catégorique ordonnée) et les variables cartographiables ont également été réalisées à l'aide de la procédure « Proc Freq » de SAS. Lorsque les variables indépendantes étaient ordonnées, le test de corrélation de Pearson a été utilisé alors que lorsque les variables indépendantes n'étaient pas ordonnées, on a utilisé un test de contingence (Siegel 1956).

Cartographie de l'AAM_{MAX} dans l'aire commune 031-07

Pour pouvoir cartographier l'AAM_{MAX} sur l'ensemble du territoire de l'aire commune, trois étapes sont nécessaires.

Dans un premier temps, à partir d'un ensemble restreint de données (300), une clé de classification est élaborée. Nous avons fait le choix de ne pas utiliser, lors de l'élaboration de l'arbre de classification, l'ensemble des données d'AAM_{MAX} des parcelles échantillons afin d'essayer de localiser, avec le maximum de précision, les stations les plus productives des stations les moins productives. Trois catégories d'AAM_{MAX} ont ainsi été définies ; AAM_{MAX} MIN qui correspond aux 100 stations les moins productives, l'AAM_{MAX} MOY qui correspond aux 100 stations présentant une productivité moyenne (aux alentours de 1,4 m^3 ha^{-1} an^{-1}) et enfin l'AAM_{MAX} MAX correspondant aux 100 stations les plus productives.

La clé de classification est, par la suite, utilisée pour prédire la classe d'AAM_{MAX} de toutes les placettes-échantillons de la zone d'étude, afin de connaître l'AAM_{MAX} moyen de chaque classe d'AAM_{MAX} prédite. Ceci est rendu possible par le fait que pour chaque placette-échantillon nous avons un AAM_{MAX} calculé à l'aide des équations de Pothier et Savard (1998) et un AAM_{MAX} prédit par la clé de classification.

Finalement, cette même clé de classification est appliquée à l'ensemble du territoire de l'aire commune. La base de données utilisée alors est celle élaborée par Périé *et al.* (2000). Chaque polygone de l'aire commune se voit donc attribuer une classe de productivité, classe cartographiée à l'aide du logiciel Arcview (ESRI).

Résultats et discussion

L'indice de qualité de station moyen des sapinières est de 12 m à 50 ans tandis que celui des pessières noires est de 13 m à 50 ans. L'IQS est davantage corrélé aux variables de peuplement (SAB ; r^2 partiel = 0,51, $P < 0,001$) qu'aux variables de site (SAB ; r^2 partiel = 0,08, $P < 0,001$), ce qui pose un problème lorsque l'on veut l'utiliser pour cartographier la productivité potentielle des stations. Ces résultats pourraient être imputables à la manière dont les données ont été prises car Kayahara *et al.* (1998) obtiennent une très bonne corrélation entre l'IQS de 89 pessières et les variables de station.

Tableau 3. Coefficient de corrélation de Spearman(†) ou indice de contingence (‡) entre l'AAM_{MAX} et les variables de prédiction.

	Sapinières	Pessières
Variables topographiques		
Étage bioclimatique †	0,063	-0,060
Pente †	0,176	0,040
Variables pédologiques		
Dépôt ‡	0,141	0,151
Drainage †	0,009	0,139
Modificateur de drainage ‡	**0,282**	0,072
Texture B †	-0,070	0,073
Texture C †	0,001	-0,070
Pierrosité †	-0,108	0,047
Type d'humus ‡	**-0,174**	-0,122
Épaisseur de l'humus †	-0,153	0,049
Variables du peuplement		
Type de peuplement ‡	0,081	0,051
Groupement d'essences ‡	**0,428**	**0,197**
Densité du couvert †	**-0,217**	**0,409**

Effets des variables édapho-climatiques sur l'AAM_{MAX_SAB} et l'AAM_{MAX_EPN}

Il n'existe aucune corrélation importante entre l'AAM_{MAX} des peuplements dont l'essence « principal-objectif » est le sapin baumier (AAM_{MAX_SAB}) et les variables édapho-climatiques des stations forestières (tableau 3). Sur l'ensemble du territoire étudié, l'AAM_{MAX_SAB} est de 1,68 $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$ (CV = 57 %), pouvant aller de près de 0 à 4,46 $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$. Dans l'aire commune proprement dite, il est de 1,62 $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$ et varie de 0 à 4,27 $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$ (CV = 57 %). Il n'y a pas de différence significative (P = 0,422) entre les conditions du milieu de l'aire commune et de l'ensemble de la zone d'étude. D'autre part, un l'AAM_{MAX_SAB} moyen de 1,60 $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$ ne semble pas très différent des valeurs moyennes fournies par Boudoux (Anonyme 1996 ; 1,40 $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$) ou Pothier et Savard (1998 ; 1,43 $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$) pour les sapinières de l'Est du Québec.

L'AAM_{MAX_SAB} est très influencé par la présence ou l'absence de drainage oblique ; en présence de drainage oblique, il est plus important. Cela fait déjà plus de 30 ans que l'effet favorable du drainage oblique sur la productivité des forêts boréales de l'Est de l'Amérique du Nord a été mis en évidence par Jurdant (1968) et confirmé par Gérardin (1983) ainsi que par Bélanger *et al.* (1995). Le drainage oblique semble en effet provoquer un enrichissement de la zone racinaire en éléments nutritifs, un plus grand apport d'eau ainsi qu'une meilleure oxygénation de l'eau du sol. Conformément aux résultats de Bélanger *et al.* (1995), l'effet positif du drainage oblique est particulièrement marqué sur les stations mésiques. Cependant, l'effet positif du drainage oblique diffère selon l'étage bioclimatique (P = 0,056), le type de dépôt (P = 0,006), la pente (P = 0,001) et, dans une moindre mesure, selon la classe de drainage (P = 0,144). En absence de drainage oblique, l'AAM_{MAX_SAB} est le même quel que soit l'étage bioclimatique (figure 2), et l'AAM_{MAX_SAB} moyen est alors de 1,5 $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$ (CV = 51 %). Au-dessous de 700 mètres d'altitude, les parcelles sur lesquelles on trouve un drainage oblique présentent une augmentation moyenne d'AAM_{MAX} de 37 %, augmentation pouvant aller de 7 à 68 %. Entre 700 et 900 mètres d'altitude, le drainage oblique entraîne une augmentation moyenne de près de 45 % (de 16 à 75 %). Lorsque l'altitude est supérieure à 900 mètres, la différence d'accroissement entre les deux types de drainage (oblique ou pas) n'est pas statistiquement significative.

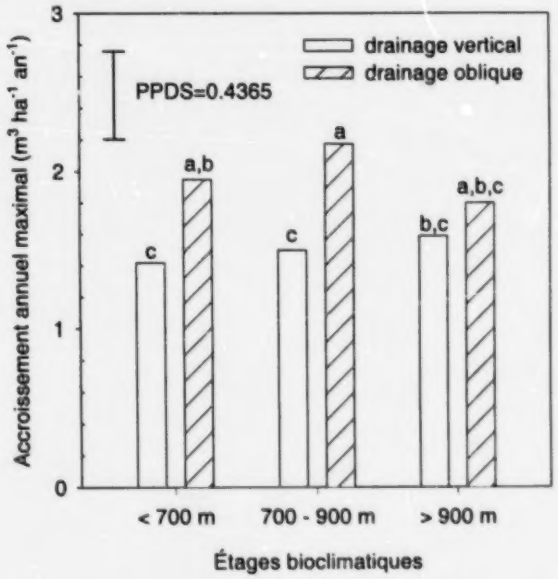

Figure 2. Effets combinés de l'étage bioclimatique et de la présence ou non de drainage oblique sur l'AAM_{MAX_SAB}. Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes à α = 0,05 (PPDS = plus petite différence significative).

Le drainage oblique a également un effet positif sur l'$AAM_{MAX\ SAB}$ lorsque l'on se trouve sur un dépôt glaciaire (figure 3), puisque le gain d'$AAM_{MAX\ SAB}$ attribuable à sa présence est en moyenne de 36 % (de 0 à 90 %). Lorsque la déclivité des pentes est supérieure à 15 % (figure 4 ; PI), la présence de drainage oblique entraîne un gain moyen d'AAM_{MAX} de 52 %, gain pouvant varier de 14 à 90 %. De même, la présence de drainage oblique sur des stations mésiques (figure 5) entraîne un gain moyen d'AAM_{MAX} de 37 % (de 10 à 64 %) tandis que sur des stations xériques l'augmentation est de 29 % (de 1 à 57 %).

Ainsi, quelles que soient les conditions écologiques des stations, le drainage oblique a tendance à favoriser l'$AAM_{MAX\ SAB}$. Le gain minimum observé est d'au moins 10 %, mais peut aller jusqu'à plus de 70 %.

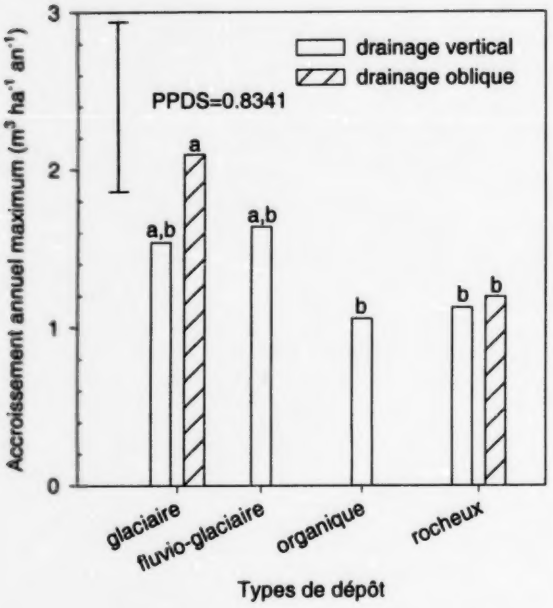

Figure 3. Effets combinés du type de dépôt et de la présence ou non de drainage oblique sur l'$AAM_{MAX\ SAB}$. Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes à α = 0,05 (PPDS = plus petite différence significative).

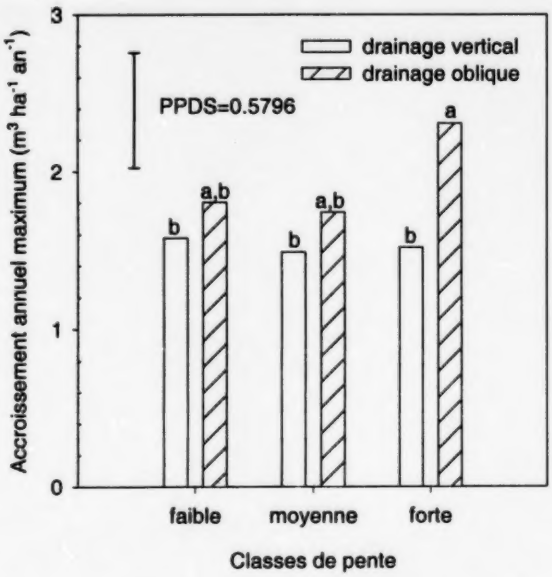

Figure 4. Effets combinés de la classe de pente et de la présence ou non de drainage oblique sur l'$AAM_{MAX\ SAB}$. Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes à α = 0,05 (PPDS = plus petite différence significative).

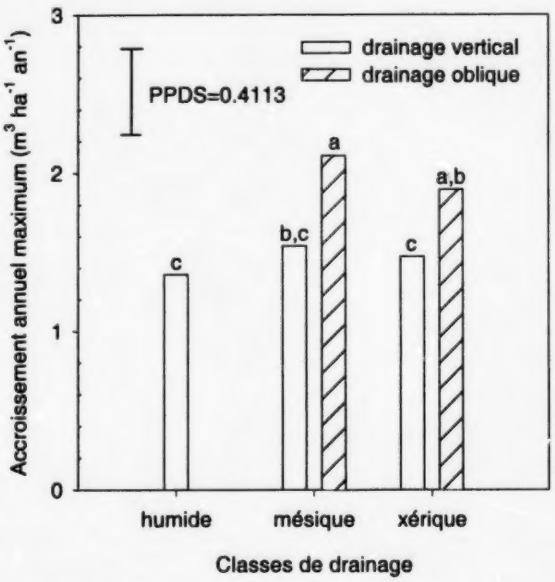

Figure 5. Effets combinés de la classe de pente et de la présence ou non de drainage oblique sur l'$AAM_{MAX\ SAB}$. Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes à α = 0,05 (PPDS = plus petite différence significative).

Les peuplements dont l'essence « principal objectif » est l'épinette que l'on trouve dans l'aire commune proprement dite sont légèrement moins productifs (P = 0,017 ; AAM_{MAX_EPN} moyen de 1,02 $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$) que ceux qui poussent à l'extérieur de l'aire commune (AAM_{MAX_EPN} moyen de 1,24 $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$). Cependant, ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles fournies par POTHIER et SAVARD (1998) qui, à l'échelle provinciale, varient entre 0,5 et 1,2 $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$ selon la densité du couvert des pessières noires. Il semblerait également que les conditions de croissance présentes à l'intérieur de l'aire commune soient plus variables (CV = 74 %) que celles que l'on trouve à l'extérieur (CV = 59 %). D'autre part, les pessières noires de la zone d'étude sont moins productives que les sapinières puisque, en moyenne, elles présentent une baisse de croissance de 25 % par rapport aux sapinières. L'interaction entre les classes de drainage et le type de peuplement affecte l'AAM_{MAX_EPN} (P = 0,061 ; figure 6). On ne trouve pas de pessières noires mélangées dans les stations humides ; dans ces stations, seules les pessières noires pures ou associées à des sapins poussent et leur croissance est généralement plus faible que celle des peuplements qui croissent sur des stations mésiques ou xériques. On ne peut cependant parler que de tendance puisque les moyennes de ces différentes stations ne sont pas significativement différentes les unes des autres. Quel que soit le type de peuplement, les pessières noires qui croissent sur des stations mésiques ou xériques ont tendance à mieux pousser que celles que l'on trouve dans les stations humides.

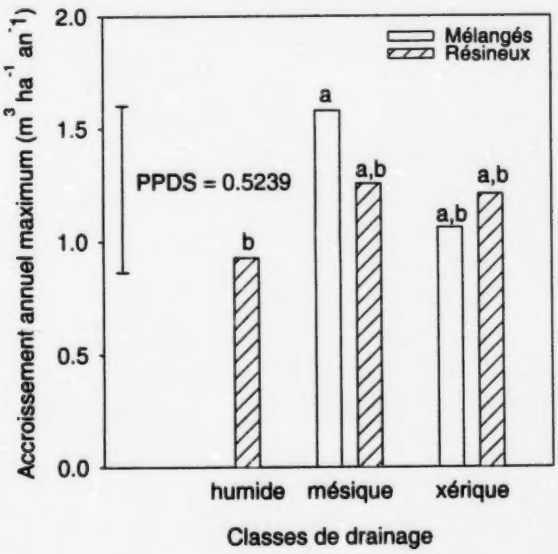

Figure 6. Effets combinés du type de peuplement et du drainage vertical sur l'AAM_{MAX_EPN}. Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes à α = 0,05 (PPDS = plus petite différence significative).

Cartographie de l'AAM_{MAX_SAB}

1er scénario : prédiction de l'AAM_{MAX_SAB} à partir des variables édapho-climatiques cartographiables

La variable édapho-climatique cartographiable la mieux corrélée à l'AAM_{MAX} des sapinières est le modificateur de drainage puisque c'est la première variable à entrer dans la clé de classification (figure 7). La taille de cette dernière est de 4 et elle présente trois nœuds composés des variables suivantes : le modificateur de drainage, le type de dépôt meuble et l'étage bioclimatique. Il faut noter que la répartition entre les trois classes d'AAM_{MAX_SAB} dans chaque feuille est très variable. Par exemple, dans la feuille A (figure 7), la classe dominante est la classe MAX et 70 % des observations de la feuille A « tombent » dans cette classe.

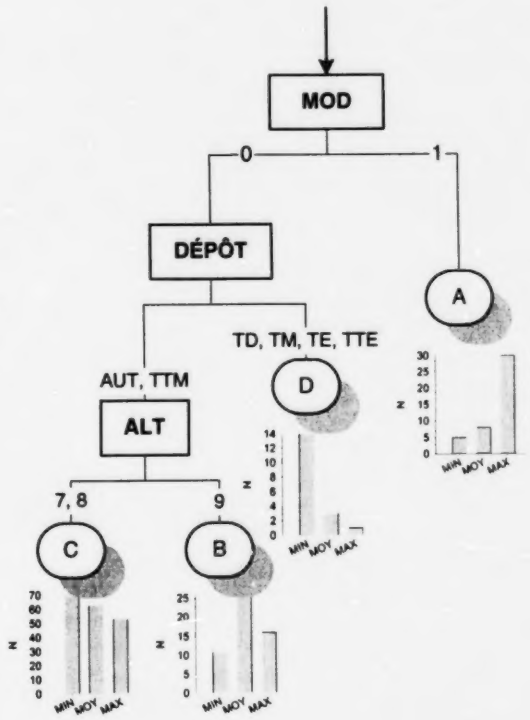

Figure 7. Clé de classification de l'AAM_{MAX_SAB} obtenue à partir des seules variables édapho-climatiques cartographiables (scénario 1). Voir tableau 2 pour savoir quelles sont les variables impliquées dans ce scénario et le tableau 4 pour connaître les valeurs moyennes d'AAM_{MAX_SAB} de chacune des classes prédites.

Tableau 4. Moyennes et taux de succès des classes d'AAM_{MAX_SAB} et d'AAM_{MAX_EPN} obtenues par les différents scénarios de prédiction

Classes prédites	AAM_{AEA} moyen[1] $m^3\ ha^{-1}\ an^{-1}$	Taux de succès[2] %
Peuplements dont le sapin baumier est l'essence « principal-objectif »		
Généralisation du 1er arbre de classification		
a	2,06 [a]	70
b	1,62 [bc]	49
c	1,52 [cd]	38
d	1,24 [d]	78
Généralisation du 2ème arbre de classification		
a	2,24 [a]	81
b	2,10 [ab]	50
c	1,97 [abc]	52
d	1,87 [abcd]	63
e	1,60 [bcde]	89
f	1,57 [bcde]	57
g	1,55 [bcde]	40
h	1,53 [cde]	50
i	1,49 [cde]	44
j	1,32 [de]	53
k	1,27 [e]	60
l	1,20 [e]	83
Peuplements dont l'épinette noire est l'essence « principal-objectif »		
Généralisation du 1er arbre de classification		
a	1,30 [a]	49
b	1,22 [ab]	38
c	1,12 [b]	49
Généralisation du 2ème arbre de classification		
a	1,50 [a]	100
b	1,44 [a]	58
c	1,25 [a]	43
d	0,86 [b]	66

[1] Moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (test de Tukey; $\alpha = 0,05$)

[2] Proportions des valeurs mesurées qui sont bien classées

À l'inverse, la majorité des observations de la feuille C appartiennent à la classe MIN, mais le taux de succès de ce classement n'est que de 38 %. Lorsque l'on utilise cette clé pour prédire les classes d'AAM_{MAX_SAB} de l'ensemble des données pour lesquelles on connaît l'AAM_{MAX}, les quatre feuilles terminales demeurent distinctes, soit par des valeurs moyennes différentes, soit par des taux de succès différents (tableau 4). Les quatre classes de productivité qui correspondent à chacune des feuilles de la clé de classification couvrent 92 % du territoire de l'aire commune ; les superficies couvertes par les chemins, les lacs et les cours d'eau ainsi que les dénudés humides n'étant pas considérées. Les stations les plus productives et les stations les moins productives sont les stations les mieux prédites, ce qui signifie que la productivité d'au moins 36 % du territoire est très bien prédite (figure 8A).

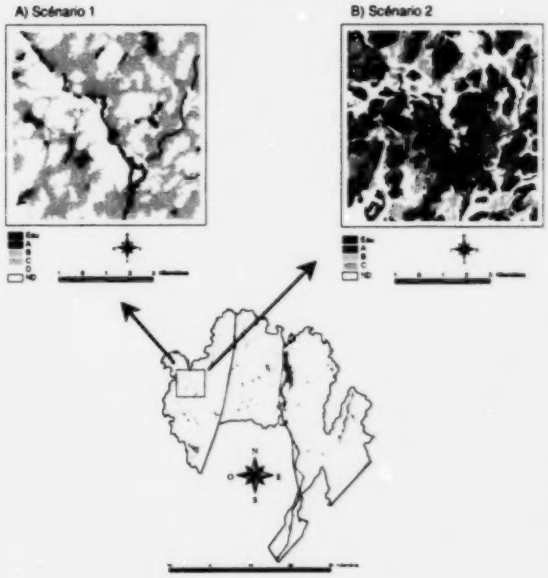

Figure 8. Classes d'AAM_{MAX_SAB} prédites par l'utilisation de la clé de classification établie à partir du premier scénario (A) ou à partir de la clé de classification établie à partir des variables du deuxième scénario (B). Les classes prédites à partir des variables du deuxième scénario ont été regroupées en trois classes. La classe A qui regroupe les classes A, B, C et D de la clé de classification de la figure 9 ; la classe B qui regroupe les classes E, F, G, H, I de la clé de classification de la figure 9, et enfin la classe C qui regroupe les classes J, K et L de la clé de classification de la figure 9.

Voir les figures 7 et 9 pour connaître les variables qui constituent chacune des clés de classification impliquées et le tableau 4 pour connaître les valeurs moyennes d'AAM_{MAX_SAB} de chacune des classes prédites.

2e scénario : prédiction de l'AAM_{MAX_SAB} à partir des variables édapho-climatiques cartographiables et des caractéristiques du peuplement

La taille de l'arbre de régression hiérarchique est de 12 et il possède 10 nœuds composés de sept différentes variables, certaines composant plusieurs nœuds (figure 9). Six des sept variables impliquées sont des variables cartographiables. La septième, la pierrosité, n'est pas photo-interprétée mais, par le même exercice d'arbre de régression (la variable dépendante devenant la pierrosité) nous avons pu déterminer la pierrosité de chacun des polygones de l'aire commune. On peut donc utiliser la clé de classification précédente pour cartographier la productivité des peuplements en croissance en 1989. Dans un tel contexte, la variable la mieux corrélée à l'AAM_{MAX_SAB} est le groupement d'essences puisque c'est la variable qui apparaît en premier dans l'arbre de régression. Il semblerait donc que l'AAM_{MAX_SAB} soit davantage influencé par les variables du peuplement, principalement le groupement d'essences, que par les variables édapho-climatiques. Ce résultat n'est pas surprenant puisque tous les paramètres des équations qui ont conduit au calcul de l'AAM_{MAX} sont fonction du type d'essence, donc, par extension, du groupement d'essences. Le territoire auquel on ne peut pas associer de productivité recouvre 40 % de l'aire commune. Il est composé du territoire non forestier, du territoire couvert par les plantations, les peuplements en régénération, les peuplements feuillus, les mélézaies et finalement les pessières noires pures. Les 87 % du territoire restant sont recouverts par trois classes d'AAM_{MAX_SAB}, une classe de faible AAM_{MAX_SAB} (K, 26 %), une classe d'AAM_{MAX_SAB} intermédiaire (G ; 28 %) et finalement une classe de plus fort AAM_{MAX_SAB} (C ; 33 %). Par ailleurs, sept autres pourcentages sont prédits avec une excellente probabilité (> 0,80). Il faut noter que les stations présentant des AAM_{MAX} extrêmes (A et L) font partie de ces 7 %. Connaissant l'AAM_{MAX_SAB} moyen (1,62 $m^3 ha^{-1} an^{-1}$), il est possible de grouper ces 12 classes d'AAM_{MAX} en trois classes. La première, AAM_{MAX_SAB} faible, regroupe les classes J, K et L et occupe 32 % du territoire productif. La deuxième, AAM_{MAX_SAB} intermédiaire, regroupe les classes E, F, G, H, I et recouvre 32 % du territoire productif. Enfin, la troisième et dernière classe regroupe les classes ayant le plus important AAM_{MAX_SAB} (A, B, C, D). Cette classe recouvre 36 % du territoire. Là encore ce sont les classes d'AAM_{MAX_SAB} extrêmes, faibles et importantes, qui sont prédites avec le plus d'exactitude.

Les cartes obtenues n'ont pas toutes la même utilité. La première (figure 8A), établie à partir des seules variables édapho-climatiques permet de cartographier la productivité potentielle des stations et ce quel que soit le peuplement en croissance dont le sapin baumier serait l'essence « principal-objectif ». Cette carte pourrait être très utile pour localiser les plantations, les peuplements en régénération ou les jeunes peuplements dont un aménagement intensif offrirait le plus de potentiel. La deuxième (figure 8B) permet

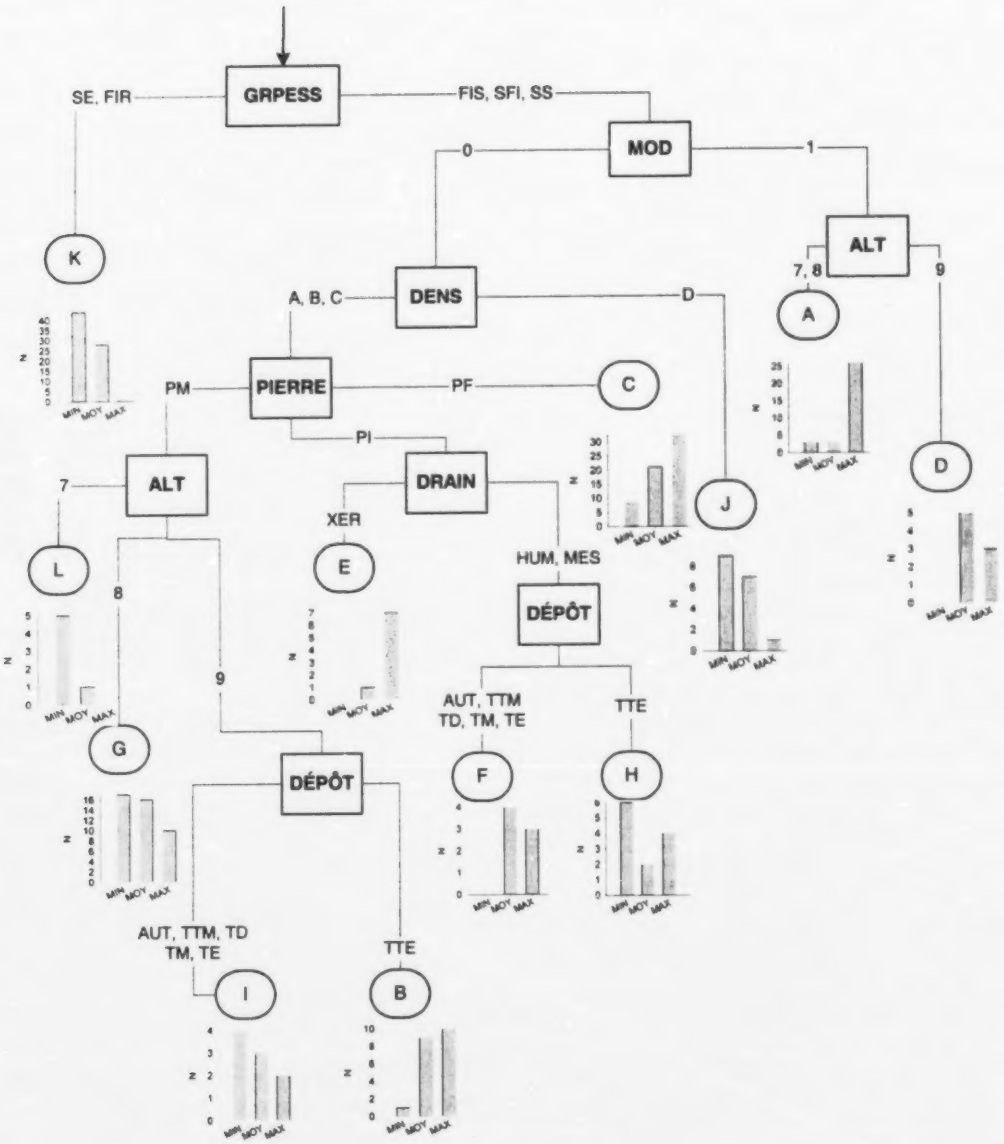

Figure 9. Clé de classification de l'AAM_{MAX_SAB} obtenue à partir de l'ensemble des variables (scénario 2). Voir tableau 2 pour savoir quelles sont les variables impliquées dans ce scénario et le tableau 4 pour connaître les valeurs moyennes d'AAM_{MAX_SAB} de chacune des classes prédites.

de cartographier la productivité des peuplements en croissance en 1989 dont le sapin baumier est l'essence « principal-objectif ». Elle permet de distinguer les peuplements les plus productifs des moins productifs.

Cartographie de l'AAM_{MAX_EPN}

1er scénario : prédiction de l'AAM_{MAX_EPN} à partir des variables édapho-climatiques cartographiables

La seule variable cartographique liée à l'AAM_{MAX_EPN} des pessières noires est la classe de pente (figure 10A). C'est donc la variable la plus corrélée à l'AAM_{MAX_EPN}. La taille de l'arbre de régression est de 3 et la pente est la seule variable qui constitue un nœud. Le taux moyen de succès de cet arbre de classification n'est cependant que de 34 %. Il n'est donc pas possible de cartographier de manière très satisfaisante l'AAM_{MAX_EPN}. Il est difficile de comprendre pourquoi la productivité des peuplements dont l'essence « principal-objectif » est l'épinette noire n'est pas influencée par les variables édapho-climatiques. L'explication la plus plausible serait que l'on retrouve ces peuplements sur le même type de station, les conditions du milieu seraient donc trop homogènes.

2e scénario : prédiction de l'AAM_{MAX_EPN} à partir des variables édapho-climatiques cartographiables et des caractéristiques du peuplement

L'AAM_{MAX} des pessières noires est davantage influencé par les variables liées au peuplement que par tout autre type de variables puisque la densité du peuplement est la seule variable à entrer dans le modèle de régression hiérarchique (figure 10B). La taille de cet arbre est de 4. Chaque classe de densité constitue une feuille. Les classes de densité extrêmes A et D correspondent aux classes d'AAM_{MAX_EPN} extrêmes. Plus la densité de couvert d'un peuplement dont l'épinette noire est l'essence « principal-objectif » est élevée, meilleur est l'AAM_{MAX_EPN} du peuplement. Le territoire forestier que l'on peut cartographier ne constitue que 24 % du territoire de l'aire commune. En effet, l'AAM_{MAX_EPN} des territoires où l'on ne retrouve pas d'épinette noire ne peut être cartographié. Les classes d'AAM_{MAX_EPN} extrêmes occupent 19 % du territoire restant (figure 11).

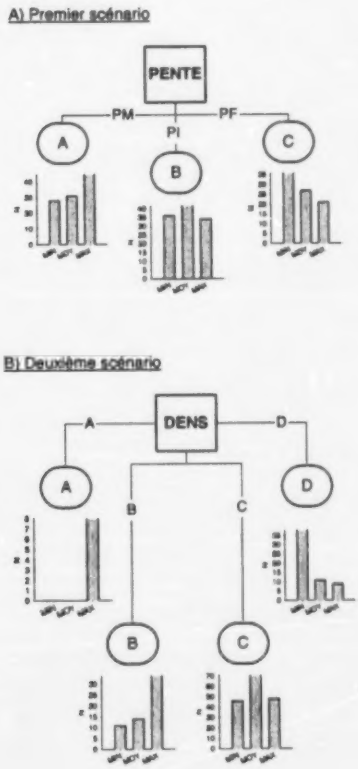

Figure 10. Clés de classification de l'AAM_{MAX_EPN} obtenues à partir des seules variables édapho-climatiques cartographiables (scénario 1 ; A) et à partir de l'ensemble des variables (scénario 2 ; B). Voir tableau 2 pour savoir quelles sont les variables impliquées dans ce scénario et le tableau 4 pour connaître les valeurs moyennes d'AAM_{MAX_EPN} de chacune des classes prédites.

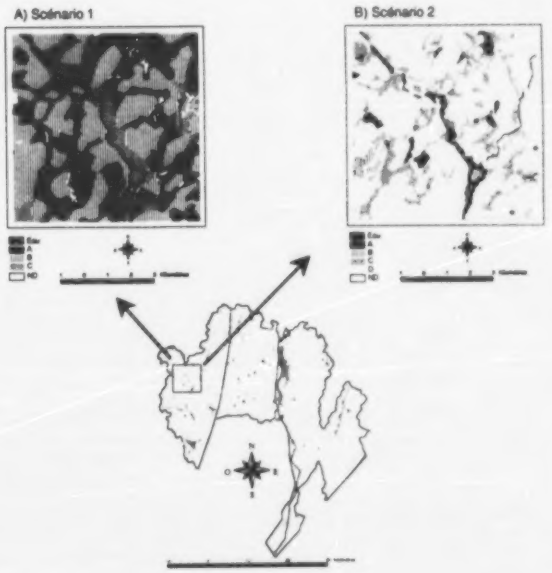

Figure 11. Classes d'AAM_{MAX_EPN} prédites par l'utilisation de la clé de classification établie à partir du premier scénario (A) ou à partir de la clé de classification établie à partir des variables du deuxième scénario (B). Voir les figures 7 et 9 pour connaître les variables qui constituent chacune des clés de classification impliquées et le tableau 4 pour connaître les valeurs moyennes d'AAM_{MAX_EPN} de chacune des classes prédites.

Possibilité forestière en résineux de l'aire commune

Selon le Plan Général d'Aménagement Forestier 1989-1994 de l'aire commune, la possibilité forestière en résineux est de 174 500 m^3, ce qui correspond à une possibilité de coupe de 1,40 $m^3 ha^{-1} an^{-1}$. La possibilité moyenne en résineux que nous avons calculée à partir des parcelles échantillons, à l'aide des équations de Pothier et Savard (1998), est de 1,43 $m^3 ha^{-1} an^{-1}$. Il semblerait donc que, dans la mesure où les peuplements forestiers sont récoltés à l'âge d'exploitabilité absolu de l'essence « principal objectif », on ne coupe pas plus de bois que ce que l'aire commune est capable de produire. Cependant, le risque de surexploitation est quand même présent puisque aucune marge de manœuvre n'existe entre ce qui est coupé (1,40 $m^3 ha^{-1} an^{-1}$) et ce que le territoire est capable de produire (1,43 $m^3 ha^{-1} an^{-1}$). Il ne faut pas oublier que la possibilité calculée est la possibilité maximale que les peuplements actuels sont capables de produire et, sur le terrain, il serait étonnant que tous les peuplements prélevés chaque année, le soient à l'âge d'exploitabilité absolu. Dans un contexte de suivi de la productivité de l'aire commune, il faudrait également tenir compte de la perte de territoire productif imputable au développement du réseau routier (Guay 1999). Il serait cependant possible d'augmenter cette possibilité par un aménagement plus soigneux, comme la récolte par peuplements et non par blocs puisque la possibilité forestière de la Forêt Montmorency, voisine de l'aire commune (sud-est), est de 2,3 $m^3 ha^{-1} an^{-1}$ (Paul Bouliane, communication personnelle). Les cartes d'AAM_{MAX} produites sont assez précises, mais il faut les utiliser avec prudence. Cependant, en tenant compte de l'incertitude rattachée à chaque classe prédite d'AAM_{MAX}, il devient intéressant de les utiliser comme un outil d'aide à la prise de décision.

Conclusion

L'IQS ne semble pas être un très bon indicateur de la productivité potentielle des stations puisqu'il est davantage influencé par les caractéristiques des peuplements que par les variables édapho-climatiques. L'AAM_{MAX} semble être un meilleur indicateur de la productivité potentielle des stations puisque, bien qu'également influencé par les caractéristiques des peuplements, les variables édapho-climatiques lui sont davantage corrélées. Sur l'ensemble de l'aire commune, les sapinières poussent mieux que les pessières noires, et leur taux d'accroissement est favorisé par la présence de drainage oblique. À condition que les coupes aient été effectuées à l'âge d'exploitabilité absolu de l'essence principal objectif (SAB : 67 ans ; EPN : 81 ans ; valeurs moyennes, quelle que soit la station), il semblerait que durant la période 1989-1994 le territoire n'ait pas été surexploité puisque la possibilité forestière octroyée par le Ministère au CAAF 031-07 est la même que celle que nous avons calculée (1,4 $m^3 ha^{-1} an^{-1}$).

Comme outil d'aide à la prise de décision en aménagement forestier, les cartes d'AAM_{MAX} peuvent être très utiles, car tout en permettant d'identifier de façon fiable les stations les plus productives, elles permettent d'éviter de façon assez sûre les stations les moins productives. D'autre part, les cartes de productivité établies à partir des caractéristiques des peuplements présents en 1989 pourront servir de référence lorsque l'on souhaitera évaluer l'impact des interventions humaines sur la productivité de l'écosystème forestier.

Remerciements

Merci à MM. Denis Hotte et Jean Noël pour leur support technique en géomatique. Merci également à M. Sylvain Végiard pour son aide en statistiques et à Mme Sylvie Tremblay pour avoir accepté de lire une version préliminaire de ce document.

*

Références

Alemdag, I.S., 1991. *National site-index and height-growth curves for white spruce growing in natural stands in Canada*. Can. J. For. Res. 21 : 1466-1474.

Anonyme, 1994. *Le point d'observation écologique*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Québec. 116 p.

Anonyme, 1996. *Manuel de foresterie*. Les Presses de l'Université Laval, Québec, 1 428 p.

Anonyme, 1997. *Plan de gestion intégrée des ressources (PGI) pour l'aire commune 032-02 : résultats des travaux d'intégration*. Ministère de l'Environnement et de la Faune & ministère des Ressources naturelles, Québec. 134 p.

Anonyme, 1998. *Manuel d'aménagement forestier*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Québec. 122 p.

Bélanger, L., S. Paquette, S. Morel, J. Bégin, P. Meek, L. Bertrand, P. Beauchesne, S. Lemay et M. Pineau, 1995. *Indices de qualité de station du sapin baumier dans le sous-domaine écologique de la sapinière à bouleau blanc humide*. For. Chron. 71(3) : 317-325.

Blais, L., G. Blais, J.-P. Carpentier, J. Cloutier, B. Del Degan, D. Demers, R. Gagnon, J.-P. Létourneau, P. Morin, J.-Y. Perron et Y. Richard. 1996, *Inventaire forestier*. Manuel de foresterie, C. Science-Impact, Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy. 389-474.

CCMF (Conseil canadien des ministres des forêts), 1995. *Définir la gestion durable des forêts. Une approche canadienne aux critères et indicateurs*. Ottawa, Gouvernement du Canada, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada. 22 p.

Corns, I.G.W., 1983. *Forest community types of west-central Alberta in relation to selected environmental factors.* Can. J. For. Res. 13(5) : 995-1010.

Corona, P., R. Scotti et N. Tarchiani, 1998. *Relationship between environmental factors and site index in Douglas-fir plantations in central Italy.* For. Ecol. Manage. 110 : 195-207.

Daniels, T.W., J.A. Helms et F.S. Baker, 1979. *The principles of sylviculture.* McGraw-Hill, New York. 500 p.

Davis, L.S. et K.N. Johnson, 1987. *Forest Management*, New York. 790 p.

Gérardin, V., 1983. *Analyse de quelques facteurs contrôlant la production forestière sur le territoire de la Moyenne-et-Basse-Côte-Nord.* Québec, Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune. 86 p.

Guay, E., 1999. *L'utilisation de la cartographie écologique pour la planification d'un réseau routier forestier*, Mémoire de Thèse de maîtrise. Université du Québec à Montréal. 114 p.

Jurdant, M., 1968. *Ecological classification of forest lands, an integrated vegetation-soil-land form approach.* New York, Cornell University, Ithaca. 414 p.

Kayahara, G.J., K. Klinka et P.L. Marshall, 1998. *Testing site index-site factor relationships for predicting* Pinus contorta *and* Picea engelmannii x P. glauca *productivity in central British Columbia, Canada.* Forest Ecology and Soil Management. 110 : 141-150.

Lamontagne, L. et M.C. Nolin, 1997. *Cadre pédologique de référence pour la corrélation des sols.* Ste-Foy, Québec, Gouvernement du Canada. Agriculture et agro-alimentaire Canada. Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures. 69 p.

Messier, C. et D. Kneeshaw, 1999. *Thinking and acting differently for sustainable management of the boreal forest.* For. Chron. 929-938.

Monserud, R.A., U. Moody et D.W. Breuer, 1990. *A soil site study for inland Douglas-fir.* Can. J. For. Res. 20 : 686-695.

Neppola, J.J. et T.J. Carleton, 1991. *Relations between understorey vegetation, site productivity, and environmental factors in* Pinus sylvestris *L. stands in southern Finland.* Vegetatio 93(1) : 57-72.

Perié, C., F. Levesque, H. D'Avignon, V. Gerardin et R. Ouimet, 2000. *Utilisation d'indicateurs cartographiques dans la caractérisation de la mosaïque forestière à l'échelle d'une aire commune*. Note de recherche n° 101 .

Pluth, D.J. et I.G.W. Corns, 1983. *Productivity of conifers in western Canada Boreal forests in relation to selected environmental factors.* Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service : 101-111.

Pothier, D. et F. Savard, 1998. *Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Québec, 183 p.

Rejwan, C., N.C. Collins, L.J. Brunner, B.J. Shuter et M.S. Ridgway, 1999. *Tree regression analysis on the nesting habitat of smallmouth bass.* Ecology 80(1) : 341-348.

Siegel, S., 1956. *Nonparametric statistics for the behavioral sciences.* McGraw-Hill. 312 p.

SAS Institute. 1997. *STAT/STAT User's Guide.* Cary, NC, USA.

Thibault, M. et D. Hotte, 1985. *Les régions écologiques du Québec méridional : 2e approximation.* Québec, Centre d'information géographique et foncière.

Wang, G.G. et K. Klinka, 1996. *Use of synoptic variables in predicting white spruce site index.* For. Ecol. Manage. : 95-105.

Québec

Ministère des
Ressources naturelles

2000-3121

ISBN 2-550-36683-2
Dépôt légal 2000
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© 2000 Gouvernement du Québec